

SAMPLE MANUFACTURING APPARATUS

BACKGROUND OF THE INVENTION

本発明は、集束イオンビーム（Focused Ion Beam：以下、単に「FIB」と記す。）を用いた微細加工を利用して、例えばウェーハから透過型電子顕微鏡（Transmission Electron Microscope：以下、単に「TEM」と記す。）や走査型電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope：以下、単に「SEM」と記す。）などで断面観察するための試料片を作製する試料作製装置に関する。

元試料であるウェーハからTEM試料やSEM試料などの試料片を作製する装置としてFIB装置が知られている。図10に、従来のFIB装置の概略構成を示す。このFIB装置の主要部は、イオン源100、イオン光学系101、二次荷電粒子検出器102、ガス銃103、試料ホルダー104、試料ステージ105からなる。

イオン源100は、例えばガリウム（Ga）に代表される液体金属イオン源である。イオン光学系101は、イオン源100からのイオンビームを集束するとともに試料106上で走査させるためのもので、コンデンサレンズ（静電レンズ）、ビームブランカ、可動絞り、8極スティグメータ、対物レンズ（静電レンズ）および走査電極などから構成されている。二次荷電粒子検出器102は、イオンビーム100aを試料106上で走査した際に発生する二次荷電粒子を検出するもので、この検出結果に基づいて画像処理を行うことにより走査イオン顕微鏡（Scanning Ion Microscope：以下、単に「SIM」と記す。）機能を提供する。

試料ステージ105は、5軸制御が可能なステージである。5軸制御では、XYZ方向への3次元的な移動、XY平面に垂直な軸周りの回転、チルトの制御が行われる。試料ホルダー104は、試料106を固定するためのもので、ベースと呼ばれる移動台（不図示）の上に載置されて試料ステージ105上へ搬入される。ガス銃103は、試料106の表面に、保護膜としてのデポジション膜を形成するためのガスを吹き付けるものである。

上記のFIB装置を用いた試料作製手法には、基本的に次の2つの手法がある。一つは、ウェーハの一部をダイシングソーにより切り出して予備加工を施した小片試料を保持部材に固定し、これを試料106として試料ホルダー104に固定してイオンビーム100aで加工する方法である。もう一つは、ウェーハ自体を試料106として試料ホルダー104に固定し、試料ホルダー104の特定部位をイオンビーム100aで直接加工して試料片を取り出す、いわゆるピックアップ法（あるいはリフトアウト法）とよばれる手法である。後者の手法は、元試料であるウェーハを割らずに試料片（TEM試料およびSEM試料）を作製することができるため、ウェーハを割って小片化する前者の手法に比べて、コスト面で有利な上、試料作製時間も短い、というメリットがある。

図11に、図10に示したFIB装置を用いた、ピックアップ法によるTEM試料の一連の作製手順を模式的に示す。以下、図10および図11を参照して、TEM試料の作製手順を説明する。

まず、試料ステージ105上に試料106であるウェーハを固定し、予め与えられている特定部位の位置情報に基づいて、イオンビーム100aがその特定部位の近傍に照射されるように大よその位置合わせを行う。続いて、イオンビーム100aで欠損部位の近傍を走査し、この走査により得られるSIM像を見なが

ら欠損部位の位置を特定する（位置出し）。位置出し後、ガス銃103によりウェーハの表面にデポジション用のガスを吹き付けるとともに、イオンビーム100aでウェーハの表面の、特定部位を含む所定の範囲を走査することでデポジション膜（保護膜）を形成する。このデポジション膜の形成は、一般にはイオンアシストデポジション（あるいはイオンビームCVD（Chemical Vapor Deposition））と呼ばれており、イオンビーム100aで照射した部分に選択的にデポジション膜を形成することができる。

続いて、図11Aに示すように、ウェーハの表面の特定部位近傍をイオンビーム100aで照射して大まかに加工し、さらに、その加工部分にイオンビーム100aを照射して仕上げ加工を行う。この加工では、イオンビーム100aは、ウェーハの表面に対して法線方向から照射されるので、イオンビーム100aが照射された領域は表面が除々に削れ、図11Bに示すような断面107aを得る。断面107a部を上部から見た厚さをどの程度まで薄くするかは試料の材質と使用するTEMの加速電圧によって異なる。例えば、Si系半導体試料を加速電圧200kVのTEMで格子像の観察をする場合は0.1 μ m以下とする必要がある。また、TEMによるトモグラフィーで3D解析等を行う場合は、試料の厚みは0.5 μ m程度に仕上げる。

断面107a形成後、試料ステージ105のチルト角を制御することによりイオンビーム100aのウェーハへの入射角度を調節し、イオンビーム100aによる加工により、断面107aが形成された部分の周りに図11Bに示すような切り込み107b（図11B中の破線で示している部分）を形成する。このとき上面側の一部は切り込みを入れずに残しておく。この切り込み107bに沿って取り出される部分がTEM試料107である。

TEM試料107の取り出しには、不図示のマニピュレータを使用する。TEM試料107の片側の断面107aに、ガラス材よりなるプローブ108の先端を近づける。プローブ108の先端が断面107aにある程度近づくと、図11Cに示すように、静電気によって、TEM試料107がプローブ108の先端に吸着する。そして、先端にTEM試料107が吸着した状態のままプローブ108を、別に用意された固定台（不図示）上に移動し、先端に吸着したTEM試料107を固定台の所定部に固定する。このときの固定台へのTEM試料107の固定には、デポジション処理や静電気を利用することができる。また、場合によっては、固定台に固定されたTEM試料107に対してイオンビーム100aで仕上げ加工を施すこともある。

TEM観察を行う場合は、上述のようにしてTEM試料107が固定された固定台をFIB装置から取り出し、別に用意されたTEM試料ホルダーに取り付ける。そして、このTEM試料ホルダーをFIB装置とは別のTEM装置のエントリーステージに挿入し、そこで、TEM試料107の断面107aの観察を行う。

以上説明したFIB装置を用いたTEM試料の作製では、FIB装置外で、TEM試料107が固定された固定台をTEM試料ホルダーへ取り付けたり、また、TEM観察後、TEM試料を再加工する場合は、TEM試料が固定された固定台をTEM試料ホルダーから取り外し、再度、試料ホルダーに固定してFIB装置内の試料ステージ上に搬入したりする必要がある。これは非常に作業性が悪い。

そこで、最近では、TEM試料などの試料片の作製およびその作製した試料片の観察用試料ホルダー（TEM試料ホルダーなど）への固定をFIB装置内で一

連の作業としてできるようにしたものが提案されている。その一例として、特開 2000-155081 号公報に記載されたような試料作製装置がある。図 12 に、その試料作製装置の概略構成を示す。

図 12 に示す試料作製装置は、真空ポンプ 200 により内部の排気が行われる試料処理室 201 に、FIB 照射光学系 202、二次電子検出器 203、デポジション用ガス源 204、試料移動機構 206、試料片プローブ移動機構 209 および観察用試料ホルダー移動機構 211 を設けたものである。

試料移動機構 206 は、元試料 5 が載置されるものであって、FIB 照射光学系 202 から照射される FIB の元試料 5 に対する相対変位を与える。試料片プローブ移動機構 209 は試料片プローブホルダー 208 が取り付けられるものであって、取り付けられた試料片プローブホルダー 208 を 3 次元的に移動することが可能である。観察用試料ホルダー移動機構 211 は、観察用試料ホルダー 210 が取り付けられるものであって、取り付けられた観察用試料ホルダー 210 を 3 次元的に移動することが可能である。これらの移動機構により、試料片プローブ 208 と観察用試料ホルダー 210 との間で試料片プローブ 207 の受け渡しが可能になっている。

上記の試料作製装置では、元試料 5 であるウェーハの特定部位を FIB 照射光学系 202 からの FIB で加工して片持ち状の試料片を形成し、この片持ち状の試料片の一部に、試料片プローブホルダー 208 に保持された試料片プローブ 207 の所定の部位を接触させて、デポジション処理により固定する。さらに、片持ち状の部分を FIB 照射光学系 202 からの FIB による加工で切り取り、試料片を元試料 5 から分離する。そして、分離した試料片が固定された試料片プローブ 207 を、試料片プローブホルダー 208 から観察用試料ホルダー 210 へ受け渡す。

上記の他、特開 2002-62226 号公報に記載されているような、TEM 試料ホルダーを取り付け可能なサイドエントリーステージを備える FIB 試料作製装置もある。図 13 に、その FIB 試料作製装置の概略構成を示す。

図 13 に示す FIB 試料作製装置は、不図示の排気ポンプにより排気が行われる FIB 試料室 302 にイオンビーム照射系 301、マニピュレータ 305、サイドエントリーステージである TEM 試料ステージ 306、およびウェーハ 303 が固定されるウェーハ用試料ステージ 304 を設けたものである。

FIB 試料室 302 の中央近傍が FIB 加工処理位置になっており、イオンビーム照射系 301 は、その光軸（鏡筒の中心軸）が FIB 試料室 302 の中央近傍を通るように配置されている。TEM 試料ステージ 306 は、水平方向（矢印 B の方向）に移動が可能であるとともに、本 FIB 試料作製装置と別に用意された TEM 装置との間で共用に使用される TEM 試料ホルダーを挿入することができる。ウェーハ用試料ステージ 304 は、垂直方向、すなわちイオンビーム照射系 301 の光軸（鏡筒の中心軸）に沿った矢印 A の方向（Z 方向）に上下移動する移動機構を備えている。

上記の FIB 試料作製装置では、まず、TEM 試料ステージ 306 を FIB 加工処理位置から十分に離れた位置まで後退させた後、ウェーハ 303 が載置されたウェーハ用試料ステージ 304 を FIB 加工処理位置まで移動する。そして、ウェーハ 303 の特定部位をイオンビーム照射系 301 からのイオンビームで加工し、この加工部の一部を TEM 試料片としてマニピュレータ 305 で取り出し

て保持する。

続いて、図14に示すように、ウェーハ用試料ステージ304をFIB加工処理位置から十分に離れた位置まで後退させた後、TEM試料ホルダー311を取り付けたTEM試料ステージ306をFIB加工処理位置まで移動し、マニピュレータ305を用いて、先に保持したTEM試料片をTEM試料ホルダー311の所定部に固定する。そして、TEM試料ホルダー311に固定したTEM試料片にイオンビーム照射系301からのイオンビームを照射して仕上げ加工を行う。

上述したFIB試料作製装置によれば、ウェーハからTEM試料片を作製する工程と、作製した試料片をTEM試料ホルダーに固定する工程をFIB試料室内で行うことができる。さらに、TEM観察後にTEM試料片を再加工する際には、TEM試料ホルダーを再度、FIB試料作製装置のTEM試料ステージに取り付けるだけでよい。

上述したように、図10に示したFIB装置を用いた試料作製では、作業性が悪い、という問題がある。

特開2000-155081号公報に記載された試料作製装置においては、試料片の作製およびその作製した試料片の観察用試料ホルダーへの固定をFIB装置内で一連の作業としてできるので、上記の作業性に関する問題を解消することができる。しかし、この場合は、以下のような問題がある。

FIB装置では、その構成上、試料処理室203はあまり大きなものとすることはできないため、FIB照射光学系202、ガス源204、検出器203、試料移動機構206、観察用試料ホルダー210および試料片プローブホルダー208は、試料処理室203の限られたスペースに近接して配置される。図12に示した構成では、観察用試料ホルダー210および試料片プローブホルダー208は、互いの先端がFIB加工位置で交わるように水平方向に配置されており、このような配置では、各ホルダーとFIB加工位置の下方に配置された試料移動機構206とが干渉する場合がある。

試料移動機構206をFIB加工位置から十分に後退させることでホルダーとの干渉を避けることは可能であるが、限られたスペースに、後退させるための空間を確保することは非常に困難であり、現実的ではない。また、仮にそのような空間を確保できたとしても、その分、試料処理室203が大型化し、装置が大掛かりなものとなる。試料処理室203が大きくなると、試料室内を十分に排気することができなくなる。さらに、試料移動機構206のストロークが長くなることから、振動によるFIB加工精度の低下が懸念される。

特開2002-62226号公報に記載されたFIB試料作製装置においても、上述した作業性を解消することができるものの、以下のような問題がある。

図13に示したように、ウェーハ用試料ステージ104とTEM試料ステージ106は、互いが干渉しないように、それぞれ垂直方向、水平方向へ移動するようになっている。このような移動スペースを試料室の限られたスペースに確保することは困難であり、実現性に欠ける。また、移動スペースを設ける分だけ装置（試料室）が大型化し、大掛かりなものとなる。さらに、試料室が大きくなると、試料室内を十分に排気することができなくなる。

また、ウェーハ用試料ステージ104をTEM試料ステージ106と干渉しない位置まで移動するためには、ある程度のストローク長が必要とされる。ウェーハ用試料ステージ104のストロークが長くなると、FIB加工時にウェーハ用

試料ステージ104が振動し、FIB加工精度が低下する。

本発明の目的は、上記各問題を解決し、試料ステージと観察用試料ホルダー（サイドエントリーステージ）が干渉することのない、コンパクトな試料作製装置を提供することにある。

SUMMARY OF THE INVENTION

上記目的を達成するため、本発明の試料作製装置は、元試料が固定される試料ステージと、前記試料ステージに固定された前記元試料の特定箇所から垂直方向から収束イオンビームを照射する集束イオンビーム照射系と、前記試料ステージの斜め上方に位置し、所定の観察用試料ホルダーが前記垂直方向に対して斜め方向に挿入されるとともに、該挿入された観察用試料ホルダーを前記斜め方向に移動可能に支持するサイドエントリーステージとを有し、前記サイドエントリーステージに支持された前記所定の観察用試料ホルダーの先端部に前記元試料の特定箇所から取り出された試料片が固定されることを特徴とする。この構成によれば、観察用試料ホルダーは、試料ステージの上方から斜めに挿入するように構成されているため、観察用試料ホルダーが水平方向に挿入される従来のものに比べて、観察用試料ホルダーと試料ステージとの干渉は生じ難い。

上記の場合、前記サイドエントリーステージは、前記所定の観察用試料ホルダーを、その先端部が前記試料ステージ上から前記元試料を取り除くことのできる空間に位置するように保持し、前記試料片を前記元試料の特定箇所から取り出して前記サイドエントリーステージに保持された前記所定の観察用試料ホルダーの先端部に取り付けるマニピュレータをさらに有してもよい。この構成によれば、元試料が固定された観察用試料ホルダーを試料ステージ上から取り去ることのできる空間を利用して、試料片を観察用試料ホルダーに固定するようになっているので、干渉防止のために試料ステージをFIB加工処理位置から後退させなくてもよい。このように、本構成によれば、従来必要とされていた干渉防止のための試料ステージの移動スペース（後退用スペース）は必要とされないもので、その分、装置はコンパクトなものとなる。

さらに、前記所定の観察用試料ホルダーは、先端に針を備えており、前記サイドエントリーステージは、前記所定の観察用試料ホルダーを3次元的に移動して前記針の先端を前記元試料の特定箇所に当接または近接させるように構成されてもよい。この構成においても、従来のような干渉防止のための試料ステージの移動スペースは必要ないので、その分、装置をコンパクトなものとすることができる。加えて、マニピュレータが必要とされないもので、その分、コンパクト化、低コスト化の面で有利なものとなる。

上述した発明において、前記集束イオンビーム照射系は、第1および第2の照射系を備えた鏡筒よりなり、該鏡筒が前記試料ステージを収容した試料室に取り付けられており、前記試料室の外側で前記鏡筒に取り付けられた、前記所定の観察用試料ホルダーが挿入される鏡筒内エントリーステージをさらに有し、前記第1の照射系は、前記試料ステージに固定された前記元試料の特定箇所にイオンビームを照射し、前記第2の照射系は、前記鏡筒内エントリーステージから挿入された前記所定の観察用試料ホルダーの先端に固定された前記試料片にイオンビームを照射するように構成してもよい。この場合は、鏡筒内エントリーステージを用いることで、試料片の加工精度が向上する。

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

図1は、本発明の試料作製装置の第1の実施形態であるFIB装置の概略構成を模式的に断面図である。

図2は、TEM試料ホルダーをサイドエントリーステージに取り付けた状態を示す模式図である。

図3Aは、TEM試料ホルダーの先端部の構造の一例を模式的に示す断面図、図3Bは、図3Aに示す先端部に設けられる、TEM試料を保持するための保持部の構造を模式的に示す斜視図である。

図4Aおよび図4Bは、図1に示すFIB装置において行われるTEM試料作製手順を説明するための模式図である。

図5Aおよび図5Bは、図1に示すFIB装置において行われるTEM試料の固定手順を説明するための模式図である。

図6は、図1に示す装置に用いられるTEM試料ホルダーの一例を示す模式図である。

図7は、本発明の試料作製装置の第2の実施形態であるFIB装置の概略構成を模式的に断面図である。

図8Aおよび図8Bは、図7に示すFIB装置において行われるTEM試料の固定手順を説明するための模式図である。

図9は、本発明の試料作製装置の第3の実施形態であるFIB装置の概略構成を模式的に断面図である。

図10は、従来のFIB装置の概略構成を模式的に示す模式図である。

図11A-11Cは、図10に示すFIB装置を用いた、ピックアップ法によるTEM試料の一連の作製手順を示す模式図である。

図12は、特開2000-155081号公報に記載された試料作製装置の概略構成を示す断面図である。

図13は、特開2002-62226号公報に記載されたFIB試料作製装置の概略構成を示す断面図である。

図14は、図13に示すFIB試料作製装置におけるTEM試料の固定動作を説明するための模式図である。

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

次に、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

(実施形態1)

図1は、本発明の試料作製装置の第1の実施形態であるFIB装置の概略構成図である。このFIB装置は、ピックアップ法を利用して元試料であるウェーハからTEM試料やSEM試料などの試料片を作製するものであって、不図示の真空排気ポンプにより内部の排気が行われる試料室1を備え、この試料室1にFIB照射光学系2、サイドエントリーステージ3、マニピュレータ4および試料ステージ6が設けられている。この他、試料室1には、図1には示されていないが、ガス銃や二次荷電粒子検出器などのFIB加工に必要な構成も設けられている。

ウェーハである元試料7を固定する試料ホルダー5および試料ステージ6は、図10に示したものと同様のものである。FIB照射光学系2は試料ステージ6の上方に位置しており、十分に集束したイオンビームで元試料7の特定箇所を走査することができる。FIB照射光学系2としては、例えばガリウム(Ga)代

表される液体金属イオン源を備えるものがある。FIB照射光学系2からのイオンビームにより加工処理やデポジション処理が行われる。

マニピュレータ4は、プローブ4aと、このプローブ4aを3次元的に移動する移動機構4bからなる。移動機構4bには、ピックアップ法による試料片の取り出しおよび固定ができるような微動機構も含まれている。サイドエントリーステージ3は、TEM装置やSEM装置に用いられる観察用試料ホルダー（不図示）がFIB照射光学系2の光軸（垂直方向）に対して斜め方向から挿入されるとともに、その挿入された観察用試料ホルダーを3次元的に移動することができる。また、サイドエントリーステージ3は、周知のエアロック機構を備えた予備室を有し、試料室1内の真空状態を維持したまま、この予備室から観察用試料ホルダーの搬入出を行うことが可能である。

図2に、観察用試料ホルダーとしてTEM試料ホルダーをサイドエントリーステージ3に取り付けた状態を示す。図2において、TEM試料ホルダー3aは、本FIB装置とTEM装置との間で共用される棒状のホルダーであって、先端部3bにTEM試料が固定されるようになっている。サイドエントリーステージ3は、TEM試料ホルダー3aを挿入方向（図2中矢印A）に移動（ストローク）させることができ、最大ストローク時に、先端部3bがFIB加工処理位置にくるようになっている。

図3Aに、TEM試料ホルダー3aの先端部3bの構造を示し、図3Bに、その先端部3bに設けられる、TEM試料を保持するための保持部の構造を示す。TEM試料ホルダー3aは、図3中矢印a1、a2の方向に回転可能にサイドエントリーステージ3に支持される。先端部3bは、TEM試料ホルダー3aの長手方向に垂直な方向から見て凹状に切り欠かれており、この切り欠かれた部分に、TEM試料を固定するための保持部31が着脱自在に設けられている。

保持部31は、回転軸32を中心に回転する半円状のものであって、TEM試料が固定される載置凹部34を備え、円弧部が摺動板33に当接するように設けられている。摺動板33は、TEM試料ホルダー3aの長手方向に沿って図3中矢印c1、c2の方向に摺動可能に設けられており、摺動板33を矢印c1、c2の方向に摺動させることで、保持部31を図3中矢印b1、b2の方向に回転することができる。

次に、本実施形態のFIB装置を用いた試料片の作製手順について具体的に説明する。ここでは、TEM試料の作製手順を例に挙げて具体的に説明する。

まず、前述の図11Aおよび図11Bに示した手順に従って、元試料7であるウェーハの特定箇所にFIB照射光学系2からのイオンビームを垂直方向から照射して加工し、図4Aに示すような、断面17aおよび切り込み17bが形成されたTEM試料17を形成する。そして、図4Bに示すように、マニピュレータ4を用いて、プローブ4aの先端をTEM試料17の断面17aへ当接または近接し、TEM試料17をプローブ4aの先端に静電気により固定して元試料7から分離する。

続いて、TEM試料17が先端に固定されたプローブ4aをFIB加工処理位置から後退させて、元試料7が固定された試料ホルダー5を試料ステージ6上から取り去った後、図2に示したように、TEM試料ホルダー3aをサイドエントリーステージ3に取り付ける。そして、サイドエントリーステージ3において、TEM試料ホルダー3aの先端部3bがFIB加工処理位置にくるようにストロ

ークさせるとともに、マニピュレータ3を用いて、図5Aに示すように、プローブ4aの先端に固定されたTEM試料17の底部を保持部31の載置凹部34に当接する。この当接に際しては、保持部31の載置凹部34の面が水平方向と平行なるように予め摺動板33により調節しておく。

上記のように当接した状態で、TEM試料17の底部と載置凹部34との当接部分にデポジション用のガスを噴きつけ、さらにその部分をFIB照射光学系2からのFIBで照射することで、図5Bに示すように、選択的にデポジション膜35を形成する。このデポジション膜35によってTEM試料17が載置凹部34に固定され、TEM試料17をプローブ4aから分離することができる。載置凹部34へのTEM試料17の固定に静電気を利用してもよい。

最後に、プローブ4aから分離され、載置凹部34に固定されたTEM試料17の両断面17aに対してFIB照射光学系2からのFIBによる最終仕上げ加工を施して観察用断面を得る。

TEM観察を行う際は、TEM試料ホルダー3aをサイドエントリーステージ3から取り外してTEM装置のエントリーステージに取り付ける。そして、TEM装置内でTEM試料17の観察用断面を電子ビームで走査することでTEM像を得る。

TEM観察後、TEM試料17を再加工する場合は、TEM試料ホルダー3aを再びサイドエントリーステージ3に取り付けられればよい。

以上説明した本実施形態の試料作製装置によれば、サイドエントリーステージ3は、観察用試料ホルダーであるTEM試料ホルダー3aを水平方向ではなく、試料ステージ6の斜め上方から挿入するように構成されているため、観察用試料ホルダーを水平方向に挿入する従来のタイプと比べて、TEM試料ホルダー3aが試料ステージ6と干渉し難い構造になっている。また、試料ステージ6を試料ホルダー5が設けられた位置とは反対の方向にチルトさせることで、試料ステージ6と試料ホルダー5の干渉をより確実に防止することができる。

また、元試料7が固定された試料ホルダー5（図2の破線で示した部分）を試料ステージ6上から取り去ることでできる空間を利用して、TEM試料17をTEM試料ホルダー3aの先端部3bに固定するようになっているので、試料ステージ6をFIB加工処理位置から後退させなくてもよい。このように、本実施形態によれば、従来必要とされていた干渉防止のための試料ステージ6の移動スペース、すなわち試料ステージ6をFIB加工処理位置から後退させるためのスペースは必要とされないため、その分、装置をコンパクトなものとすることができる。

さらに、本実施形態では、保持部31は、TEM試料ホルダー3aに着脱自在に設けられているので、TEM観察後は、保持部31を新しいものに交換することでTEM試料ホルダー3aを再利用することができる。

なお、本実施形態のものでは、TEM試料17はTEM試料ホルダー3aの先端部3bに設けられた保持部31に固定されるようになっているが、これに限定されるものではなく、その構造は適宜変更可能である。例えば、図6に示すような、先端部3b'に水平方向に平行な固定面31'を備えたTEM試料ホルダーを用い、TEM試料17を固定面31'に直接固定するようにしてもよい。

以上は、TEM試料の作製を例に説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、SEM試料の作製においても同様な構造を適用することができる。S

EM試料を作製する場合は、TEM試料ホルダーに代えてSEM装置と本FIB装置との間で共用されるSEM試料ホルダーが用いられる。SEM試料ホルダーは、元試料7から取り出されるSEM試料を固定するように構成されている以外は、基本的にはTEM試料ホルダーと同様な構造である。SEM試料は、TEM試料17の片面を観察用断面とするものである。

(実施形態2)

上述した第1の実施形態では、マニピュレータを用いて元試料であるウェーハから試料片(TEM試料やSEM試料)を取り出すようになっているが、マニピュレータを用いずに、観察用試料ホルダー自体で試料片を取り出すことも可能である。ここでは、観察用試料ホルダー自体による試料片の取り出しが可能な形態について説明する。

図7は、本発明の試料作製装置の第2の実施形態であるFIB装置の概略構成図である。このFIB装置は、図1に示した構成において、マニピュレータをなくし、サイドエントリーステージ3に、先端部に針41が着脱自在に設けられたTEM試料ホルダー40が取り付けられるように構成したものである。図7中、図1に示したものと同一のものには同じ符号を付している。

針41は、先端が細くなっており、先端とは反対の端部がTEM試料ホルダー40に固定されている。TEM試料ホルダー40は、本FIB装置とTEM装置との間で共用することができる。サイドエントリーステージ3は、TEM試料ホルダー40を3次元的に移動することができる機構を備えている。この移動機構には、針41の先端を元試料7の特定箇所に当接または近接することが可能な微動機構も含まれる。

次に、本FIB装置を用いたTEM試料の作製手順について説明する。

まず、第1の実施形態の場合と同様にして、図4Aに示したTEM試料17を形成した後、TEM試料ホルダー40をサイドエントリーステージ3に取り付ける。続いて、サイドエントリーステージ3にて、TEM試料ホルダー40を3次元的に移動制御することで、図8Aに示すように、針41の先端をTEM試料17の断面に当接する。針41の先端の当接位置は、後述する最終仕上げ加工を妨げないような位置、例えば、TEM試料ホルダー40の断面の角部とする。

上記のようにして当接した状態で、当接部分にデポジション用のガスを噴きつけ、さらにその部分をFIB照射光学系2からのFIBで照射することで、図8Bに示すように、選択的にデポジション膜45を形成する。このデポジション膜45によってTEM試料17が針41の先端に固定され、TEM試料17を試料であるウェーハから分離することができる。針41の先端へのTEM試料17の固定に、静電気を利用してもよい。最後に、針41に固定されたTEM試料17の両断面に、FIB照射光学系2からのFIBによる最終仕上げ加工を施して観察用断面を得る。

TEM観察を行う際は、TEM試料ホルダー40をサイドエントリーステージ3から取り外してTEM装置のエントリーステージに取り付ける。そして、TEM装置内でTEM試料17の観察用断面を電子ビームで走査することでTEM像を得る。

TEM観察後、TEM試料17を再加工する場合は、TEM試料ホルダー40を再びサイドエントリーステージ3に取り付けられればよい。

本実施形態のFIB装置においても、上述した第1の実施形態の場合と同様、

観察用試料ホルダーであるTEM試料ホルダー40は試料ステージ6の上方から斜めに挿入されるようになっているので、観察用試料ホルダーを水平方向に挿入する従来のタイプと比べて、TEM試料ホルダー40と試料ステージ6が干渉し難い構造になっている。

また、従来のような干渉防止のための試料ステージの移動スペースは必要ないので、その分、装置をコンパクトなものとすることができる。

さらに、本実施形態では、針41は取り替え可能であるため、針41を新しいものに交換することでTEM試料ホルダー40を再利用することができる。

また、本実施形態では、マニピュレータが必要とされないもので、その分、上述した第1の実施形態のものと比べて、コンパクト化、低コスト化の面で有利なものとなる。

以上、TEM試料の作製を例に説明したが、本実施形態の構成も、第1の実施形態の場合と同様、SEM試料の作製に適用することができる。

(実施形態3)

図9は、本発明の試料作製装置の第3の実施形態であるFIB装置の概略構成図である。このFIB装置は、図1に示した構成において、FIB照射光学系2に代えて、鏡筒内サイドエントリーステージ21を備えるFIB照射光学系20を設けた以外は、前述した第1の実施形態のFIB装置と同様のものである。

FIB照射光学系20は、図1に示したFIB照射光学系2と同様、試料ステージ6上に試料ホルダー5を介して載置される元試料7の特定箇所をイオンビームで照射できるように試料室1に取り付けられており、試料室1の外側において、鏡筒の所定の箇所に、鏡筒内サイドエントリーステージ21が取り付けられている。鏡筒内サイドエントリーステージ21は、前述の第1の実施形態で説明したTEM試料ホルダーやSEM試料ホルダーよりなる観察用試料ホルダー22を取り付けることができ、その取り付けた観察用試料ホルダー22を3次元的に移動することができる。

また、FIB照射光学系20は、不図示のイオン源（例えばGaイオン源）から引き出されたイオンビーム20aの進行方向に、偏向系23および対物レンズ（静電レンズ）24からなる第1のFIB照射部と、偏向系25および対物レンズ（静電レンズ）26からなる第2のFIB照射部とが順次配置された構造になっている。第1のFIB照射部は、鏡筒内サイドエントリーステージ21から挿入された観察用試料ホルダー22の先端部に固定された試料片をイオンビーム20aで加工するためのものである。第2のFIB照射部は、試料ステージ6上の元試料7の特定箇所をイオンビーム20aで加工したり、サイドエントリーステージ3から挿入された観察用試料ホルダー22の先端に固定された試料片をイオンビーム20aで加工したりするためのものである。

本実施形態のFIB装置では、第2のFIB照射部を用いて、試料ステージ6上の元試料7の特定部位を加工して試料片を作製し、その作製した試料片をサイドエントリーステージ3から挿入された観察用試料ホルダー22の先端に固定する。さらに、観察用試料ホルダー22の先端に固定された試料片に、第2のFIB照射部を用いて最終仕上げ加工を施す。この試料片の作製、固定および最終仕上げ加工は、前述した第1の実施形態の場合と同様である。

試料片を観察（例えばTEM観察やSEM観察）する場合は、観察用試料ホルダー22を本FIB装置から取り外して別に用意された観察装置（TEM装置や

SEM装置)のエントリーステージに挿入し、そこで観察用試料ホルダー22の先端に固定された試料片を観察する。

観察後、試料片を再加工する場合は、観察用試料ホルダー22を観察装置から取り外して本FIB装置の鏡筒内サイドエントリーステージ21に挿入し、第1のFIB照射部を用いて、観察用試料ホルダー22の先端に固定された試料片に再加工を施す。

上述した本実施形態のFIB装置の構成は、前述した第2の実施形態のFIB装置にも適用することができる。

本実施形態のFIB装置によれば、前述した第1および第2の実施形態の場合に比べて、鏡筒内サイドエントリーステージ21を設けたことで加工の自由度および精度が向上する。その理由は、鏡筒内サイドエントリーステージを用いた場合、TEM試料をより対物レンズに近づけた配置となるため、サイドエントリーステージに比べて分解能が高くなるためである。また、鏡筒内サイドエントリーステージにおける観察用試料ホルダーのストローク長は、サイドエントリーステージにおけるそれより短いことから、振動および剛性の面で有利となる点も挙げられる。さらにまた、図3に示したようなチルト機構を有する保持部を持たない既存の観察用試料ホルダーを利用する場合、サイドエントリーステージでTEM試料片を加工するよりも、鏡筒内サイドエントリーステージでTEM試料片を加工する方が、加工精度が高くなる点も挙げられる。

以上説明したように、本発明によれば、従来のものと比べて、試料ステージと観察用試料ホルダーとの干渉をより確実に防止することができ、装置をよりコンパクトなものにでき、という効果がある。

What is claimed is:

1. 元試料が固定される試料ステージと、
前記試料ステージに固定された前記元試料の特定箇所から収束イオンビームを照射する集束イオンビーム照射系と、
前記試料ステージの斜め上方に位置し、所定の観察用試料ホルダーが前記垂直方向に対して斜め方向に挿入されるとともに、該挿入された観察用試料ホルダーを前記斜め方向に移動可能に支持するサイドエントリーステージとを有し、
前記サイドエントリーステージに支持された前記所定の観察用試料ホルダーの先端部に前記元試料の特定箇所から取り出された試料片が固定されることを特徴とする試料作製装置。
2. 前記サイドエントリーステージは、前記所定の観察用試料ホルダーを、その先端部が前記試料ステージ上から前記元試料を取り除くことのできる空間に位置するように保持し、
前記試料片を前記元試料の特定箇所から取り出して前記サイドエントリーステージに保持された前記所定の観察用試料ホルダーの先端部に取り付けるマニピュレータをさらに有することを特徴とする請求項 1 に記載の試料作製装置。
3. 前記所定の観察用試料ホルダーの先端部に取り付けられた前記試料片が、前記空間において前記集束イオンビーム照射系からのイオンビームで照射されることを特徴とする請求項 2 に記載の試料作製装置。
4. 前記所定の観察用試料ホルダーは、先端に針を備えており、
前記サイドエントリーステージは、前記所定の観察用試料ホルダーを 3 次元的に移動して前記針の先端を前記元試料の特定箇所に当接または近接させることを特徴とする請求項 1 に記載の試料作製装置。
5. 前記所定の観察用試料ホルダーの針の先端に取り付けられた前記試料片が、前記集束イオンビーム照射系からのイオンビームで照射されることを特徴とする請求項 4 に記載の試料作製装置。
6. 前記集束イオンビーム照射系は、第 1 および第 2 の照射系を備えた鏡筒よりなり、該鏡筒が前記試料ステージを収容した試料室に取り付けられており、
前記試料室の外側で前記鏡筒に取り付けられた、前記所定の観察用試料ホルダーが挿入される鏡筒内エントリーステージをさらに有し、
前記第 1 の照射系は、前記試料ステージに固定された前記元試料の特定箇所にイオンビームを照射し、
前記第 2 の照射系は、前記鏡筒内エントリーステージから挿入された前記所定の観察用試料ホルダーの先端に固定された前記試料片にイオンビームを照射することを特徴とする請求項 1 に記載の試料作製装置。

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

元試料が固定される試料ステージと、元試料の特定箇所から収束イオンビームを照射する集束イオンビーム照射系と、試料ステージの斜め上方に位置し、所定の観察用試料ホルダーが上記垂直方向に対して斜め方向に挿入されるとともに、該挿入された観察用試料ホルダーを上記斜め方向に移動可能に支持するサイドエントリーステージとを有する。サイドエントリーステージに支持された観察用試料ホルダーの先端部に元試料の特定箇所から取り出された試料片が固定される。